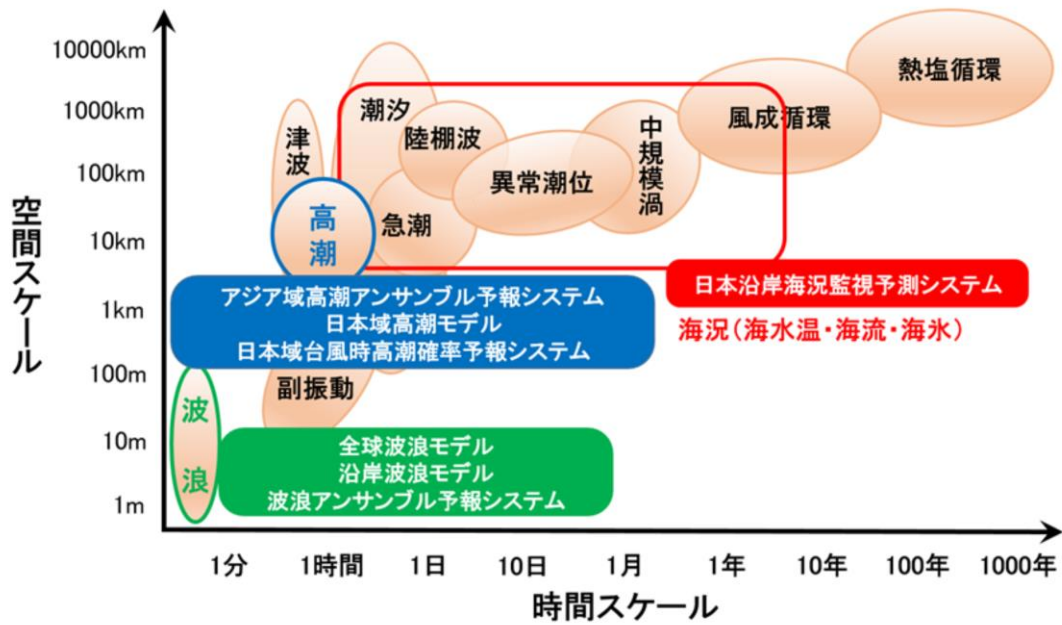




第1章 基礎編

1.4.2 海洋モデル

海洋現象の時空間スケールと 海洋モデルの予測対象



海洋では、図に示されるように、海上の風によって生じる数m～数100mスケールの波浪から、海水温と塩分による密度差で駆動される地球規模の熱塩循環まで、様々なスケールの現象が起きている。

気象庁では、これらの様々な海洋現象を予測し海洋起源の災害を軽減するために、予測対象ごとに「波浪モデル」、「高潮モデル」、「海況モデル」といった各種の海洋に関する数値予報モデルを運用している。

海洋モデルの種類(波浪、海況)

数値予報システム (略称)	モデルを用いて 発表する予報	予報領域と 格子間隔	予報期間 (メンバー数)	実行回数 (初期値の時刻)
全球波浪モデル	外洋波浪予想 (波浪図)	極域を除く地球全体 約55km	5.5日間	1日3回 (00,06,18UTC)
			11日間	1日1回 (12UTC)
沿岸波浪モデル	波浪予報	日本周辺 約5km	5.5日間	1日4回 (00,06,12,18UTC)
波浪アンサンブル予 報システム	週間天気予報 (波浪)	極域を除く地球全体 約55km	11日間 (51メンバー)	1日2回 (00,12UTC)

数値予報システム (略称)	モデルを用いて 発表する予報	予報領域と 格子間隔	予報期間	実行回数 (初期値の時刻)
日本沿岸海況監視予 測システム (JPNEシステム)	海面水温・海流1か月予 報 海氷情報	北太平洋 約10km	31日間	1日1回 (00UTC)
		日本近海 約2km	11日間	1日1回 (00UTC)

表に記載してあるのは、気象庁が運用する海洋に関するモデルのうち、波浪モデルと海況モデルの概要である。

「波浪モデル」は、海上の風の予測値を用いて、海上における波の発達・減衰やうねりの伝播などを予測し、高波時に発表される波浪警報・注意報や、毎日の波浪予報、船舶向けの波浪図などに利用されている。

「海況モデル」は、黒潮や親潮等の日本周辺の海流や海水温、海氷の状態を予測し、海面水温・海流1か月予報・海氷情報や船舶向けの海氷予想図の発表、水産業、また他の数値予報モデルとともに船舶の安全運航、海上の警備救難等でも利用される。令和2年10月28日からは、新しい「海況モデル」として格子間隔約2kmの日本沿岸海況監視予測システムが運用されている。これにより、日本沿岸域の海流や海水温の変動を詳細に予測できるようになり、異常潮位等の沿岸の潮位変動の予測も可能となっている。また、オホーツク海沿岸地域への海氷の接近、接岸や根室海峡、国後水道からの海氷の太平洋への流出をより詳細に表現できるようになった。

海洋モデルの種類(高潮)

数値予報システム (略称)	モデルを用いて 発表する予報	予報領域と 格子間隔	予報期間 (メンバー数)	実行回数 (初期値の時刻)
アジア域高潮アンサンブル予報システム	高潮情報 (アジアの気象局で利用)	北西太平洋 約1.5~50km	132時間 (台風時52メンバー、 非台風時1メンバー)	1日4回 (00,06,12,18UTC)
日本域高潮モデル	高潮情報 (警報・注意報)	日本周辺沿岸部 約1~16km	78時間※1 (台風時6メンバー、 非台風時1メンバー)	1日2回 (00,12UTC)
			39時間 (台風時6メンバー、 非台風時1メンバー)	1日6回 (03,06,09,15,18,21UTC)
日本域台風時高潮確率予報システム	早期注意情報 (警報級の可能性)	日本周辺沿岸部 約1~16km	132時間 (21メンバー)	1日4回※2 (00,06,12,18UTC)
			39時間 (21メンバー)	1日4回※2 (03,09,15,21UTC)

※1 39時間より先の予測結果は一部試験運用中で、今後正式運用となる見込みである。
 ※2 非台風時には動作しない。



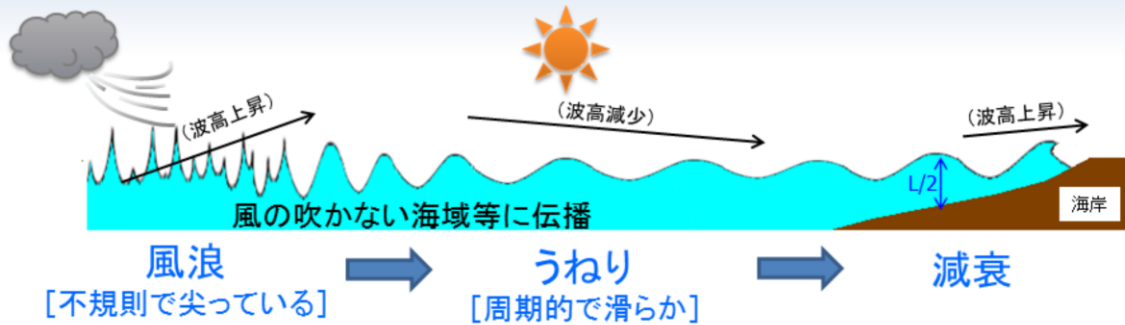
表に記載してあるのは、気象庁が運用する海洋に関するモデルのうち、高潮モデルの概要である。

「高潮モデル」は、台風の接近時などに海面気圧と海上の風の予測値から潮位の上昇量を予測し、高潮災害が危惧される場合の高潮警報・注意報の発表や、警報級の現象が発生する可能性を示す高潮早期注意情報(警報級の可能性)の発表に利用されている。

令和4年9月8日からは「日本域台風時高潮確率予報システム」の運用が開始された。これにより、台風の進路横方向の不確実性や進行速度の不確実性を考慮できるようになり、確率的に高潮予報ができるようになったことで、高潮早期注意情報(警報級の可能性)を発表することが可能となった。

波浪モデル

波浪の一生



①風による風浪の発生

- 風速
 - 吹送距離
 - 吹続時間
- で波高・周期が決まる。

②風浪からうねりへの変化

- 波高は減少
- 周期は長くなる

③海岸近くで砕波

- 水深が浅くなると海底地形による屈折、波高の変形(浅水変形)
↓ さらに海岸に近づくと…
- 波形勾配が大きくなり、やがて砕波

波の一生の模式図

波浪モデルの概要について解説を行う前段として、波浪の基礎について簡単に述べる。波浪は、一般に風浪とうねりに大別される。風浪とは海上を吹く風からエネルギーを与えられて発達しつつある波であり、風速が強いほど、また吹く距離(吹送距離)及び吹く時間(吹続時間)が長いほど発達する。個々の波の形状は不規則で尖(とが)っており、強風下ではしばしば白波が立つ。一方、風浪が風の吹かない領域まで進んだり、海上の風が弱まったり風向きが急に変化するなどして、風による発達がなくなった後に残される波をうねりと呼ぶ。うねりは周期的で丸みを帯び、正弦波に近い形状をしている。また、波が海岸に近づき、水深が波長 L の $1/2$ より浅くなると海底地形による屈折や波高の変形が起こる(浅水変形)。さらに水深が浅くなると、波高が急激に上昇、波形勾配が大きくなり、やがて砕波する。波浪モデルでは、波浪が風浪として発生してからうねりに変化し消滅するまでの一連の現象を数式で表し、日々の波浪を計算している。

波浪モデル

波浪の表現

一般に海面は非常に複雑な形状：
様々な波の重ね合わせ

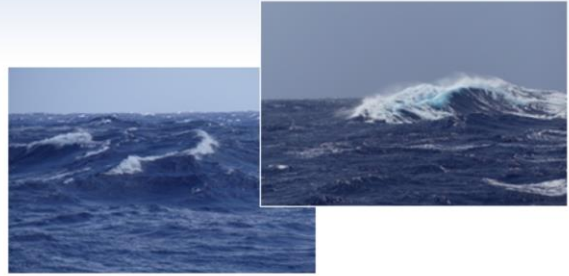
不均一の波を表現することに工夫が必要

二つの表現方法

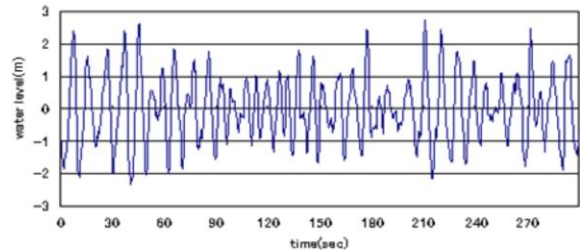
- ① 有義波(波高・周期・波向)
- ② 波浪スペクトル

これらを用いるメリット

- どれくらいの大きさ(波高)の波が
 - どの方角から
 - どれくらいの周期でやってくるか
- 定量的に把握できる。



波の様子(気象庁観測船から撮影)

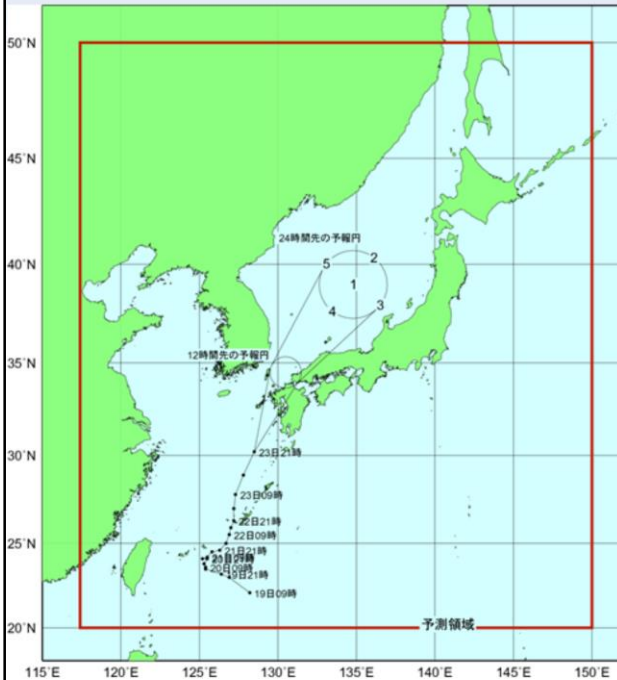


松前沿岸波浪計における波浪観測記録の例

海面は写真のように複雑な形状をしている。また、グラフは、観測点(松前)における波浪観測の記録の例であるが、正弦波のような単一の振幅、周期ではなく様々な周期及び振幅の波が混在している。このように海面の波は様々な波の重ね合わせとなっていることがわかる。こういった特徴を踏まえ、波浪の状態を表現する方法として、①有義波、②波浪スペクトルという2つの表現方法が一般に用いられている。これらの方法により、どれくらいの大きさの波が、どの方角から、どれくらいの周期でやってくるかといったことについて定量的に把握することが可能となる。

高潮モデル

日本域高潮モデル: 台風時は6通りの高潮計算を実施



気象庁 Japan Meteorological Agency

- 非台風時はMSMによる1通りの計算を行う。
- 台風時(日本付近に台風が存在する場合)は、MSMによる1通りに加え、進路予報の誤差を考慮し、5通りの風・気圧場(ポーガス)による計算を行う。
- ポーガス計算では、予報円中心上を通るコース(ポーガス中央コース)と、予報円周辺上を通る4コース(ポーガス周辺コース)の計算を実施。
 1. 予報円中央を通過
 2. 最も速く通過
 3. 予報円右側を通過
 4. 最も遅く通過
 5. 予報円左側を通過
- ポーガス中央コースはMSMにポーガスを埋め込む。ポーガス周辺コースは台風周辺のみポーガスによる気象場を与える。

令和4年度数値予報解説資料集

62

日本域高潮モデルでは、非台風時には、MSMの風・気圧場を使用した1通りの予測計算を行う。一方、台風による高潮の場合、台風の進路によって高潮の規模や発生のタイミングが大きく異なることから、台風進路予報の誤差などを考慮して高潮の予測をする必要がある。このため、台風が日本に接近する(台風が予測期間内に日本の沿岸300km以内を通過する)と予想される場合(以下、台風時)には、高潮モデルでは6つの異なる風・気圧場を用いた6メンバーの予測計算を行う。6メンバーの予測のうち、1つは非台風時と同様MSMの風・気圧場を使用し、その他5メンバーについては台風情報に基づき作成した仮想的な台風周辺の風・気圧場(以下、台風ポーガス)を用いる。MSMと台風ポーガスの2種類の外力を利用する理由は、MSM予測値を用いた場合に地形による変形や、中緯度に北上してきたことによる台風の変形が高潮予測に反映されるメリットがある一方で、MSM予測が気象庁発表の台風予報と異なる進路・強度を示す可能性を考慮するためである。

台風ポーガスを使用する5メンバーの予測では、図に示したように台風が

1. 予報円中心
2. 予報円上の最も速いコース
3. 予報円上で進行方向右
4. 予報円上の最も遅いコース
5. 予報円上で進行方向左

を通過する場合の高潮を予測する。1を「ポーガス中央コース」、2～5を「ポーガス周辺コース」と呼ぶ。

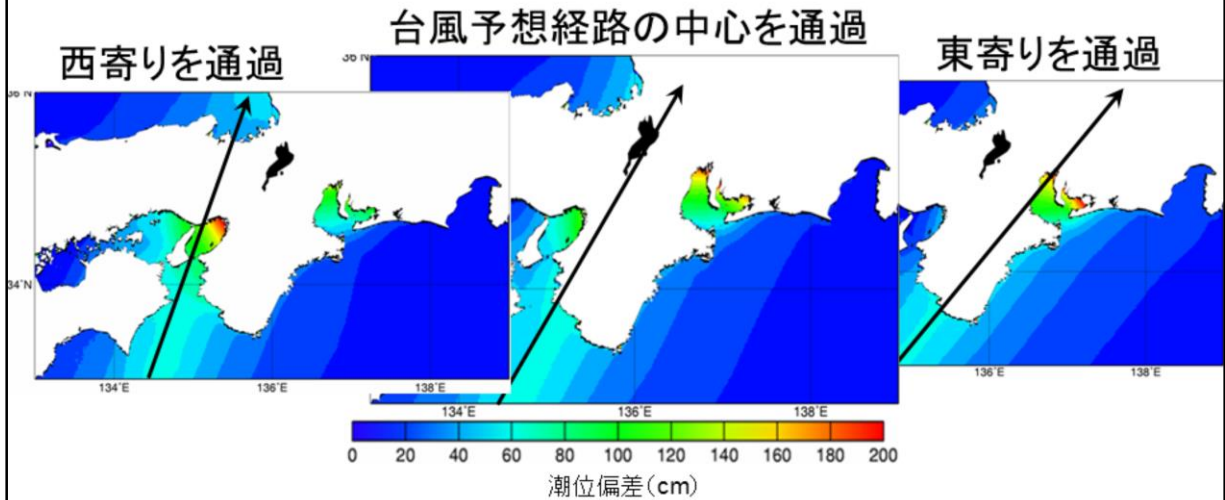
複数の台風が日本に接近した場合、高潮の予測に使用する台風ポーガスは、複数の台風それぞれについて同じコース同士で台風ポーガスの重ね合わせを行い計算する(例えば、重ね合わせに使用する台風ポーガスは、一方の台風を予報円上の最も速いコースで計算する場合、もう一方の台風も同様に予報円上の最も速いコースで計算する)。台風ポーガスを埋め込むときは、弱い台風・優先度の低い台風から埋め込み、優先度の高い台風で上書きを行う、という手続きがとられる。いずれの台風も中心付近(強風半径程度)ではそれぞれの台風ポーガスを使用し、その外側では両者を合成する。ポーガス中央コースはMSMにポーガスを埋め込むが、ポーガス周辺コースは台風周辺のみポーガスによる気象場を与える(ポーガス周辺コースはポーガスとMSMによる台風位置が大きくずれる場合が多いため、ポーガスをMSMに埋め込むと、MSMによる台風が残ってしまう)。

また、24時間以内に台風ではなくなり、外力として用いる予測期間内までの台風予報値が台風情報に記述されない場合、台風の強度・移動速度を一定と仮定して必要な値を外挿することにより予想を行う。

高潮モデル

日本域高潮モデル:なぜ5コースの計算が必要か

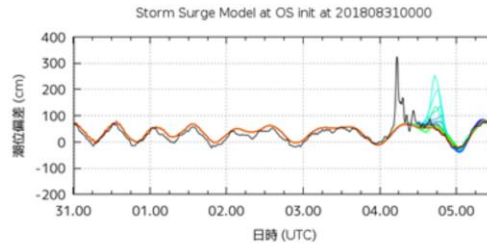
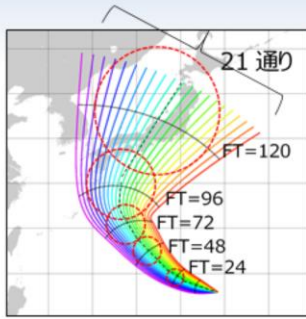
- 高潮が発生する場所・規模は台風コースに強く依存。
- 台風進路の予報誤差がある場合、大きな誤差が発生しうる。
 - 複数のシナリオを用意し、最悪パターンを考慮して使い分ける。



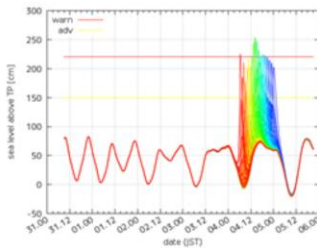
図は、台風進路が少しずつ変わった場合に、顕著な高潮の発生する場所がどう変化するかを示している。この例では、台風が予報円西寄りを通過した場合は大阪湾、予報円中心を通過した場合は伊勢湾、予報円東寄りを通過した場合は三河湾で顕著な高潮が発生することが分かる。このように、高潮が発生する場所や規模は台風進路に大きく影響を受け、進路予報の誤差は高潮予測にも大きな誤差をもたらす。そのため気象庁の高潮予測においては、台風時は複数のシナリオを用意し、状況に応じて使い分けているほか、不確実性や潜在的なリスク評価にも用いている。

高潮モデル

日本域台風時高潮確率予報システム: 確率的な予報



① 台風進路予報に合わせた21通りの5日先までの高潮予測を計算。

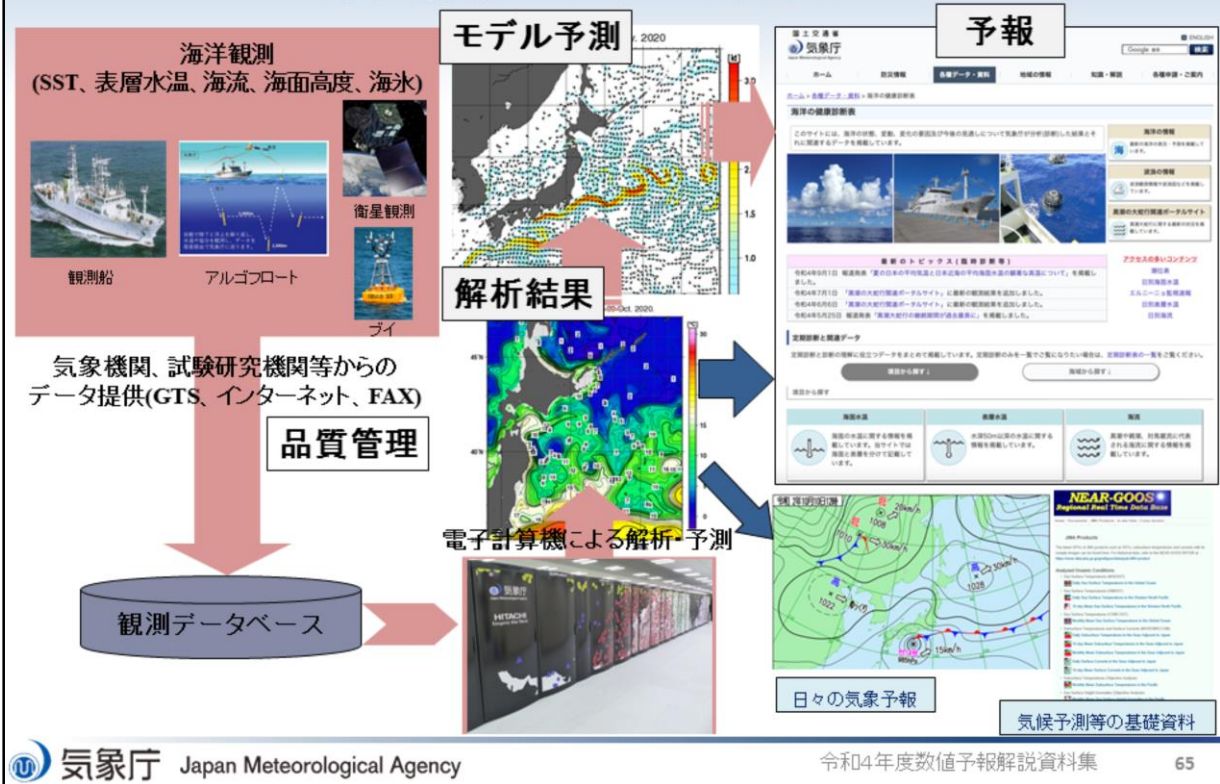


2000000000UTC 初期時刻		選択コース: MSM準拠 パーセンタイル値: 100				○ 通関予報細分区 ○ 市町村等をまとめた地域 ● 二次細分区				
府県予報区	通関予報細分区	市町村等をまとめた地域	二次細分区	データ	2日目	3日目	4日目	5日目	注	警報基準
宗谷地方	宗谷地方	宗谷北部	稚内市(オホツク海側)	自動判定値	中	中	中	中	「中」は黒字+青色塗りつぶし。	130
				高潮アンソンプル	6	31	-13	-34	90	130
宗谷地方	宗谷地方	宗谷北部	標津村(オホツク海側)	自動判定値	低	中	低	低	警報基準超過は黒字+青色塗りつぶし。	90
				高潮アンソンプル	-3	45	-12	-15	90	130

② 台風進行速度を調整する処理を加え、21×21=441通りの高潮予測に拡張。高潮早期注意情報(警報級の可能性)として発表する。

気象庁では、確率的な高潮予報を可能とするため、令和4年9月8日から「日本域台風時高潮確率予報システム」の運用を開始した。このシステムでは、台風予報円の情報を元に、①日本域高潮モデルを用いて、台風進行の横方向に進路を等間隔にずらした計21通りの台風進路を作成し、21通りの5日先までの高潮予報計算を実行する。その後、②台風進行速度の不確実性について、高潮予報結果の時間をずらす処理を実施することにより、21×21=441通りの高潮予報に拡張して、更に潮汐効果も加算することで、高潮確率予報を作成する。この高潮確率予報を元に、警報級の可能性を判定し、高潮早期注意情報を発表している。

海況モデル 海況情報の収集から提供まで



海洋観測船や海洋ブイ、衛星観測、海洋フロートなどの観測結果は、品質管理を経て海洋観測データベースに蓄積される。この蓄積されたデータを海洋モデルに同化し、解析値や予報値を作成する。解析値や予報値は、日々の天気予報や気象予報の基礎資料として活用されている。

海況モデル

海況情報の利用

- 安全で経済的な船舶の運航
 - 搜索
- 水産業
- 沿岸防災
- レジャー・スポーツ
- 流出油・津波デブリの漂流予測
- 汚染物質の移流・拡散予測

海況情報は、安全で経済的な船舶の運航や搜索、水産業、沿岸防災、レジャー・スポーツ、流出油・津波デブリの漂流予測、汚染物質の移流・拡散予測などに利用されている。漂流予測は、海面に浮いたものが対象で、風の応力を直接受け一方、移流・拡散予測は海水に溶けたものが対象で、海水とともに鉛直方向にも移動する。